

医療における放射線被ばくの医学生命倫理学的考察 (Part II)

－テラーメイド放射線防護への道標－

亀 井 修

京都府立医科大学大学院医学研究科 博士課程 医学生命倫理学

要約

100mSv 未満の低線量の放射線被ばくの影響について、科学的に証明されていないためそのリスクを評価できないとの考え方と、いかに少ない線量の被ばくであっても、細胞レベルでは何らかの障害を受けており、将来的に発癌のリスクがあるという2つの考え方が対立している。この問題については、低線量においてもリスクの存在を前提として防護を行うとすると、いわゆる「予防原理」を適用した LNT 仮説（直線しきい値なし仮説）の考え方が国際的には支持されている。しかし、人体に対して放射線を照射するという行為は、「無危害原則」と「善行原則」の対立の中で、「二重結果原理」の適用によって正当化されるという考え方もある。また、LNT 仮説を「予防原理」の適用という理論については、低線量被ばくの影響が不明とされる中で、直線仮説が過小評価となる場合もあることから、「予防原理」を適用することは適当ではないという考え方もある。また、今後における放射線防護基準について、低線量被ばくの影響が、「性差」や「年齢」および「遺伝子レベル」での放射線被ばくに対する「放射線耐性」の違いを考慮すると、個々の感受性をふまえた「テラーメイド放射線防護」という新しい放射線防護基準へのパラダイムシフトを検討する必要がある。

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日の福島第一原子力発電所の事故からおよそ 8 年近く経過した。この間、同原子力発電所から放出された放射性物質について、様々な書籍および論文等においてその被ばくの影響に対しての論評がなされてきた。放出された放射性物質による内部被ばくへの影響は、主として放射性ヨウ素 131 (^{131}I) による甲状腺被ばくの影響についての論述が多くみられた。また、外部被ばくについては、事故直後からセシウム 137 (^{137}Cs) から放射されるガンマ線による影響について様々な議論がなされてきた。いずれにしても実効線量^{注1)}にして、年間 100mSv 以下のいわゆる低線量被ばくの影響についての議論となっている。

著者は『STUDIA HUMANA et NATURALIA』前号 (No51) 中の「医療における放射線被ばくの医学生命倫理学的考察」¹⁾ の拙稿において、放射線防護^{注2)} に関しての医学生命倫理学上の観点から低線量被ばくの問題点について論述した。その中で、低線量被ばくの影響について米国アカデミー^{注3)} の BEIR (電離放射線の生物学的影響に関する委員会) の「どんなに低い線量でも DNA の損傷が生じ、それは確率的に変異と癌に関連する」²⁾ という見解を紹介した。また、フランス科学アカデミー^{注4)} および、我が国政府の原子力委員会^{注5)} の「低線量の放射線被ばくでの発癌のリスクの明らかな増加を証明することは難しい」³⁾ との見解を重ねて紹介した。このように科学者の間でも見解が大きく異なっている低線量被ばくの影響を踏まえて、本稿では医学生命倫理学上の視点から放射線被ばくの倫理的側面についての論述を更に掘り下げて行きたい。また、著者は前号の「医療倫理学における原則の対立の問題の検討」の論述において、以下に示すような3点についての検討の必要性を示唆するに留めたが、本稿においてはこの点の論述を更に掘り下げて行きたい。

(1) 医療倫理における四原則^{注6)} 中の「無危害原則」と「善行原則」の対立について、医学生命倫理学上の検討。

(2) 放射線被ばくの影響について、「安全」そして「危険」という両極端の是非を問う評価ではなく、低線量被ばくのリスクが「科学的証明が不確実なリスク」と考えられることから、「予防原則」^{注7)} の適用についての検討。

(3) 医学生命倫理学における、その他の諸原則を適用した、新たな防護基準の検討。

ここで上記 (1) に関しては放射線防護の理論が「無危害原則」と「善行原則」の対立という原則同士の衝突が発生するとともに、両者は比較考量される中で互いに補い合っていることを示した。本稿では更に両者の関係について「二重結果原理」という面から論述していく。また (2) に関しては「予防原則」が低線量被ばくの影響を考える際の、理論的基礎となっているが、その「予防原則の適用」については意見が分かれている。本稿では、その適用の是非について論述していく。また、(3) に関しては放射線被ばくが、医学生命倫理学上どのような位置づけになるかを検証し、性別、年齢、そして遺伝学の面から、放射線感受性の違いからくる「放射線耐性」を考慮した放射線被ばくに対する、新たな防護基準設定の可能性を模索していく。このように、上記 (1) および (2) は従来からの防護基準を認めた上で、その根拠についての検証という意味から、放射線被ばくにおける放射防護のパラダイムを構築していると考え

られる。また (3) の論証を行うことによって、新たな放射線防護基準へのパラダイムシフトの構築に繋がっていくものと考えている。

注 1) 実効線量：放射線被ばくによる個人の確率的影響（がん、遺伝的影響）のリスクの程度を表す線量概念である。各臓器の受けた放射線の等価線量にその臓器の組織加重係数を掛けた値の総和量として定義される。単位はシーベルト（記号：Sv）が用いられる。

注 2) 放射線防護：人間およびその環境を、放射線被曝あるいは放射性物質による汚染から防護し、放射線障害の発生するのを防止すること。放射線保護のための実務を放射線管理あるいは保健物理、放射線防護を研究対象とした学問を保健物理学というが、放射線防護、放射線管理および保健物理の3者はニュアンスの違いはあるにせよ、実際にはほぼ同義語として用いられている。

注 3) 米国アカデミー：National Academy of Sciences (NAS) は著名な学者の民間非営利団体である。1863 年にアブラハム・リンカーン大統領によって署名された議会法により設立された NAS は、科学技術に関する事項について国家に独立した客観的助言を提供する義務を有する。NAS はアメリカでの科学の発展に尽力しており、メンバーは国際的な科学コミュニティへの積極的な貢献者である。NAS の 500 人近くのメンバーがノーベル賞を受賞している。

注 4) フランス科学アカデミー：フランス国内の科学研究を活性化させ、保護するべきであるという、財務相ジャン＝バティスト・コルベールの助言を受けたルイ 14 世によって、1666 年に創立された。最初にアカデミー会員として任命されたのは、天文学者、解剖学者、植物学者、化学者、幾何学者、技師、医師、物理学者からなる 22 名であった。このなかには、唯一の外国人であるクリスティアーン・ホイヘンスも含まれていた。

注 5) 原子力委員会：原子力基本法と原子力委員会設置法に基づいて、原子力の研究、開発、利用に関する行政の民主的な運営をはかるため内閣府に置かれた審議会。2012 年廃止。原子力の研究、開発、利用に関する事項について企画、審議し、決定することを目的に 1956 年 1 月に設置された。委員長のもとに 4 人の委員で構成され、委員長は当初科学技術庁長官が兼任していたが、2001 年の中央省庁再編に伴い学識経験者に変更された。

注 6) 医療倫理の四原則：米国型医療倫理の 4 原則は、1979 年のベルモントレポートが基本となる。ビーチャムとチルドレス (Beauchamp, T.L. and Childress, J.F.) により教科書 (Principles of Bioethical Ethics, 1979) として出版されその中で 4 原則が提唱されている。その中で (1) 自律尊重原則 (Respect of Autonomy)：患者の自己決定権の尊重すること、(2) 恩恵原則 (Beneficence)：患者の健康を増進することを目的、それ以外の目的で行われてはならないこと、(3) 無危害原則 (non-maleficence)：患者の害 (harm) になる行為はしてはならないこと、(4) 正義原則 (Justice)：すべての患者に公平 (equality)・公正 (fairness) に医療をおこなうこととしている。また、欧州型の四原則は 1998 年に EU の欧州委員会に対して行った提言「バルセロナ宣言」が基本となる。(1) 米国型の自己決定権より広い能力の総体としての「自律 autonomy」、(2) 人間やそれ以外の存在に道徳的地位を認める概念の「尊厳 dignity」、(3) 人間が介入、改変すべきでない生命の核心部分を保護すべきであるという原則の「不可侵性 integrity」、(4) 生命をもった存在の弱さ、弱い存在に対して手を差し伸べ、保護する義務として「傷つきやすさ、脆弱性 vulnerability」としている。

注 7) 予防原則：化学物質や遺伝子組換えなどの新技術などに対して、環境に重大かつ不可逆的な影響を及ぼす仮説上の恐れがある場合、科学的に因果関係が十分証明されない状況でも、規制措置を可能にする制度や考え方のこと。1990 年頃から欧米を中心に取り入れられてきた概念。予防措置原則とも言う。

2. 無危害原則と善行原則

前節で述べた(1)の放射線被ばくに関して「無危害原則」と「善行原則」の対立の問題は、ビーチャム・チルドレスの『*Principle of Biomedical Ethics*: 生命医学倫理』⁴⁾によれば、「無危害」とは「害悪や危害を加えてはならない」ということであり、また「善行」とは、「危害の予防」、「危害の除去」、そして「善の促進」を意味するとしている。このように無危害と善行の間には明確に分離できない面もあるが、「積極的に危害を加えない」とことと、単に「害を取り除く」とことは道徳的に異なるとされ、その点で両者は区別されている。

医療において、放射線を人体に照射する行為は、それ自体「人体に危害を与える」ことになることから「無危害原則」に反する行為となる。しかし、医療において人体に放射線を照射する本来の目的は、「疾病の治療」および「疾病の早期発見」を意図したものであり、このことは「善行原則」に該当することになると考えられ、この点で両方の原則が対立していることになる。したがってここでは、放射線の人体への照射という行為について「無危害原則」と「善行原則」の両面から検討を行ってみる。

ある行為が「無危害原則」と「善行原則」の二面性を持つとき、いわゆる「二重結果原理」^{注8)}の適用が考えられる。この二重結果原理は、ローマ・カトリックの伝統の中で、中絶に対して反対の立場の教会が、妊娠した女性に対する医療処置の結果、胎児が死亡した場合、その死亡を正当化するための抗弁として利用した理論である。カトリックの道徳家が病に瀕した母親の命を救うという目的のために医療処置を行い、胎児の死が予見される結果ではあるが、その目的が胎児の死を手段としていないことがこの理論の主旨である。つまり、「罪のない人を殺す行為はそれ自体誤っているが、このような結果が、良い結果のためになされた行為の、意図せざる結果であるなら、人の死という悪い結果が生じたことも、容認される」⁴⁾とした。カトリックの教義では、中絶は道徳的には殺人と同等のものとみなされている。しかし、胎児の死亡が中絶にならない状況として「子宮がん」と「子宮外妊娠」で、妊婦を助けるための医療処置の結果、胎児が死亡しても中絶にはならないとしている。そこで、二重結果原理は「良い結果と悪い結果との両方をもつ行為の正当化において、満足されなければならない条件」として以下の4つの条件を提示している。

その一つは、「その行為自体が本質的に誤っているものであってはならない」⁴⁾ということである。これについては、レントゲン博士^{注9)}のX線の発見とその後の医学の

進歩により、人類はX線CT装置などを発明し、人体の内部を「切開」することなしに「覗き見る」技術を得た。したがってこの技術を医療に用いること自体「本質的に誤り」にはならないと考えられる。

二つ目の条件では、「行為者は良い結果のみを意図し、悪い結果を意図してはならない。」⁴⁾としている。ここでいう「良い結果」とは放射線を使用した検査を行うことによって、ある疾病の早期発見へ寄与した結果であると考えられる。また「悪い結果」とは、放射線被ばくによる「悪い結果」と考えられ、たとえば放射線被ばくの急性障害として、皮膚の発赤や脱毛など比較的軽度の障害や、更に重症になるとリンパ球の減少や骨髄障害などがあげられる。またその他、放射線被ばくの晩発障害である発癌や遺伝的影響を指しているものと考えられる。このように放射線による被ばくの影響は、その影響の程度にかかわらず、「ゼロ」にできないことは確かである。そこで、ここでは人体がどの程度の障害まで許容できるかという、その「限界点」が問題となってくる。「悪い結果は予見され、緩和され、また、許容されても意図的に求めてはならない。」⁴⁾とはこの場合、放射線被ばくの影響が「予見できても確実に発生するものではない」ということに該当するかどうかということである。この影響は放射線被ばくによる、発癌などの確率的影響^{注10)}と同じ考え方になる。この点、ある確率で癌の発生は予見できても、確実に発生するものではないということから「二重結果原理」の条件に合致するものと考えられる。前述したように皮膚の発赤や脱毛そしてリンパ球の減少といった急性障害は、ある「しきい線量」を超えた場合必ず発生する障害、つまり「確定的影響」^{注11)}であり、ここで示される「確実に発生するものではない」という前提条件からは外れるものと考えられる。

三つ目の条件では、「悪い結果は、良い結果をもたらすための手段であってはならない。すなわち、良い結果は直接、行為によって達成されなければならない。」とある。ここでいう「悪い結果」である放射線被ばくの影響の「発癌」と、照射行為の目的である「疾病の発見」では目的と手段の間になら関係性はなく、「良い結果」である疾病の発見は「放射線の照射」という行為によってのみ達成されることから、したがってこの条件にも合致している。

四つ目の条件では「良い結果は、容認された害悪よりも勝っていなければならない」としている。放射線検査により「癌の早期発見」ができたという「良い結果」は、ある確率で将来発生するかもしれない「発癌」という害悪に「勝っている」と考えられ

ることから、この条件にも該当している。以上のことから、放射線の人体への「照射行為」と「悪い結果」である「発癌」という予見可能な結果があったとしても、二重結果原理から疾病の早期発見のための、人体に対する放射線の照射は容認されるべきものと結論できる。

注 8) 二重結果原理：ある行為の帰結を意図（intention）された帰結と予見（foresight）される帰結とに区別し、行為者が責任を持つのは、前者の意図された帰結のみであり、いわば副作用とも言える予見された帰結については責任が問われないとする説である。カトリックでは人工妊娠中絶が禁止されているが、子宮ガンにかかっている妊婦の治療の為に子宮を摘出することは、この原理から許されることになる。

注 9) レントゲン博士：ヴィルヘルム・コンラート・レントゲン（Wilhelm Conrad Röntgen）はドイツの物理学者。1895 年に X 線の発見を報告しこの功績により 1901 年、第 1 回ノーベル物理学賞を受賞した。

注 10) 確率的影響：確率的影響では、100mSv 程度以上で有意増加が確認されるヒト発がん（固形がんと白血病）と実験動物で有意増加が確認される遺伝的影響（先天異常）などが考慮される。自然放射線に加わる年間 100mSv 程度以下は「確率的影響がしきい値なく増加線量に比例する」という LNT 仮説が、最新知見も考慮の上採用されている。

注 11) 確定的影響：臓器の吸収線量が一定のしきい値を超えた場合は、必ず症状が発生することになり、これを確定的影響という。確定的影響は、しきい線量値を超えた場合必ず発生する為、「現実的リスク」と考えることができる。

3. 予防原則

予防原則は、もともと「ある活動が人の健康や環境に対して害となる脅威をもたらすときには、たとえ科学的にその因果関係が確立されていないとしても、予防措置がとられるべきである」⁵⁾ とする考えである。つまり、不確実な「リスク」を対象にしている。この理論を、その影響が科学的に証明されていない低線量被ばくの「リスク管理」に当てはめられることができるかどうかということがこの場合の議論の中心となっている。前述したように、放射線の被ばく線量が 100mSv 未満の低線量被ばくについて、その影響は科学的に証明が不可能とされている。

広島および長崎のような高線量での被ばくに比べて、低線量での被ばくのリスクは低く⁶⁾、有効な精度でそのリスクを定量化するためには、極めて大規模な疫学的サンプルが必要とされる。したがって統計的な精度を維持するために被ばく量の逆 2 乗のサンプル数が必要となる⁷⁾ と言われている。つまり、100mSv の被ばくの影響を定量化するためには 50,000 人のサンプルが必要とされ、10mSv であれば 5,000,000 人のサンプルが必要とされる。このように、極低レベルの放射線被ばくのリスクを定量化する

には大規模な調査が必要となる。しかし、原爆被爆者以外の、現在の医療被ばくなどの低線量被ばくの患者を使用した疫学調査について実際は不可能であると考えられる。したがって、低線量被ばくリスクを評価するために最適なサンプルを有する疫学データは、広島・長崎の原爆被爆者のデータである。その被爆者のデータを用いた放射線影響研究所の寿命調査 (LSS)⁸⁾ コホートの中で、被ばく線量がある程度判明している長崎原爆被爆者のデータベースを用いて、あらゆる視点から調査が行われて来た。この原爆被爆者の中で、爆心地から 2500m 以内で被ばくした人の平均被ばく線量は 200mGy (ガンマ線による被ばくの場合は 200mSv に等しい) であり、リスクが有意となる最低線量は 150mGy (同 150mSv) であった。この線量と反応の関係を論文より引用して図 1 に示した⁹⁾。したがって、医療被ばくを含めた様々な被ばく形態において、100mGy (同 100mSv) 未満 (図 1 中の点線の部分) の被ばく線量のリスクの評価は、この原爆被爆者の結果から推測して「評価不能」ということになる。

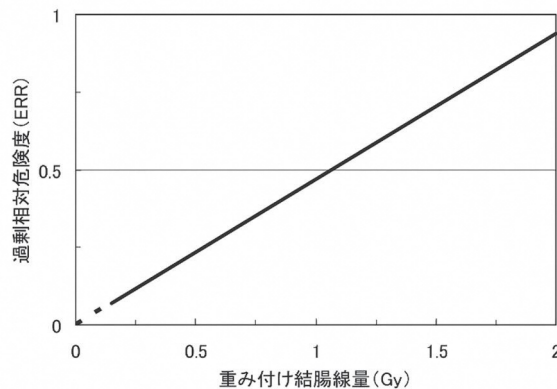


図 1 (出典：広島・長崎における原爆被爆者の疫学調査)

しかし、人間の個体レベルで「評価不能」であっても細胞レベルでの影響は「科学的に証明できない」だけで実際は「ゼロ」ではないとも考えられる。これらの結果から、前述したように 100mSv 未満の低線量被ばくのリスクは「科学的に不確実」であり、この点は「予防原則」適用の範疇に収まるものと考えられる。

大塚の「リスク社会と環境法」¹⁰⁾ では、予防原則の適用について三つの要件が示されている。(1) 環境の脅威の評価に当たって、原因と損害との因果関係を証明するた

めに科学的証拠を必要としない。(2) 起こりうる損害が重大か又は回復不可能であるおそれがある。(3) 防止的行動は必要ないとするについて、行為者に証明責任を負わせる。この三点について、放射線被ばくによる「発癌」という予見結果が生じた場合について検証する。

まず(1)の原因と結果の因果関係についての科学的証明は、前述したように低線量被ばくについて因果関係は証明できないということになるので、因果関係の証明は必要ないということになる。また(2)については「発癌」という損害は最終的に「致死に至る」疾病でもあり、重大かつ回復不可能な結果であると考えられる。また(3)については、「放射線を人体に照射する」という行為と「発癌」という結果は予見できても、「影響がない」ことの証明は不可能であるということになる。

予防原則について、サンスティーンは「強いバージョンの予防原則」と「弱いバージョンの予防原則」¹¹⁾に分けて適用していくことを述べている。1998年のウィングスプレッド宣言^{注12)}では「ある活動が人の健康や環境に対して害となる脅威をもたらすときには、たとえ科学的にその因果関係が確立されていないとしても、予防措置がとられるべきである」との「強いバージョンの予防原則」であり、「損害がすでに起きてしまった後にはではなく、損害が起こるかもしれないという証拠があればできるだけ早く、問題を是正するための行動がとられるべきだ」ということを意味することになる。もし予防原則の意味をこのように「強いバージョンの予防原則」と捉えたと、リスクが少しでも考えられる行為は結局「実行不能」となり、あらゆるリスクを持つ「人間の活動」に影響を及ぼすことになる。また、「弱いバージョンの予防原則」は、一ノ瀬¹²⁾によれば1992年に国連環境開発会議で採択された、リオ宣言^{注13)}の第15宣言がその典型であると述べている。その中で「環境を保護するため、予防的方策は、各国により、その能力に応じて広く適用されなければならない。深刻な、あるいは不可逆的な被害のおそれがある場合には、完全な科学的確実性の欠如が、環境悪化を防止するための費用対効果の大きい対策を延期する理由として使われてはならない。」、つまり「害悪の決定的な証拠が欠けているということ、規制を拒否することの理由とすべきではない」¹³⁾という意味の宣言になっている。このことについて大塚は「リスク社会と環境法」の中で「費用便益分析を伴う弱いバージョンの予防原則は支持する」¹⁰⁾としている。

広島、長崎の被爆者の例で示したように、ヒトが高線量の被ばくをした場合放射線

障害を引き起こすことは明らかであるが、問題は 100mSv 以下の低線量被ばくの場合の影響をどのように評価するかであった。その評価については、100mSv 以下の低線量被ばくにおける線量とその影響について、LNT 仮説^{注14)} (直線しきい値^{注15)} なし仮説: Linear Non-Threshold) モデルから、被ばく線量がゼロでない限り何らかの影響があるものとして、つまり線量に比例した影響 (リスク) があるものとして評価している。このように LNT 仮説は、一般的に「有るかどうか不明なリスクについて、リスクがあるものとして予防する」ということが、放射線被ばくの影響に対しての「予防原則」であると考えられている。

この LNT 仮説については、その影響の評価が「過大評価」および「過小評価」との二つの批判が存在¹⁴⁾ する。つまり、線量反応曲線の 100mSv 未満に外挿した時の曲線の凸凹によってリスクの評価が分かれている。この推定から LNT 仮説を、改めて「予防原則」と言えるかどうか検討する必要性が生じている。

図 27) は前節の図 1 の中の 100mSv 以下における、被ばく線量と癌のリスクの関係を推定するグラフである。曲線 a は線形推定 (LNT 仮説)、曲線 b は上に凸、c は下に凹、d は閾値ありモデル、e はホルミシス^{注16)} 反応と、以上のように推定可能なすべての曲線が示されている。つまり、曲線 b の場合は LNT 仮説に対して過小評価になり、曲線 c および d は過大評価になるということを読み取ることができる。しかし、LNT 仮説を「予防原則」と考える根拠は、低いリスクを予防的に過大評価し、安全サイドにリスクを評価することにあることから、つまり曲線 c、d を想定していることになると考えられる。したがって、曲線 b の場合はリスクを過小評価することになり、結局安全サイドの評価と言えないことになる。つまり、この場合は「予防原則」の考え方とは整合しなくなり、この点が LNT 仮説を「予防原則」にあてはまらないという根拠として考えられている。

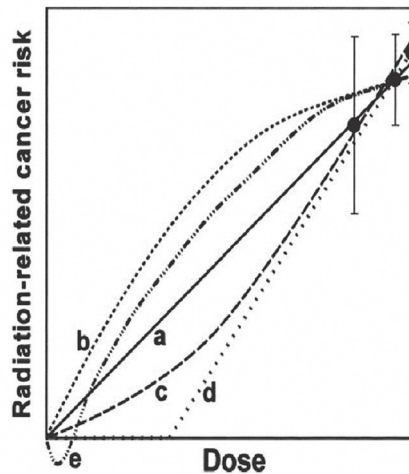


図2 放射線被ばくリスクの測定値の低線量被ばくへの外挿（出典：文献7）

注12) ウィングスプレッド宣言：科学者や政府公務員・法律家・労働者・草の根環境活動家の国際的なグループが、予防原則を定義し議論するために、ウイソコンシン州ラシーンのウィングスプレッドに1998年1月23～25日に集まり、2日間の会合後、同グループは予防原則に関するウィングスプレッド宣言を発表した。

注13) リオ宣言：1992年にブラジルのリオ・デ・ジャネイロで開催された環境と開発に関する国際連合会議（UNCED）において合意された27原則から成る宣言。UNCEDではこれを実践するための行動計画「アジェンダ21」の他、「森林原則声明」、2つの国際条約「気候変動枠組条約」「生物多様性条約」、併せて5つの文書が国際的に合意された。

注14) LNT仮説：100mSv以下の低線量被ばくリスクが、ゼロから被ばく線量に比例して直線的に増加していくとの考え方である。

注15) しきい値：しきい値より低ければ生物的反応に放射線の影響がない線量値のことである。しきい値モデルは、しきい値より低い線量ではいかなる放射線の影響も生じないことを前提にしている。

注16) ホルミシス：何らかの有害性を持つ要因について、有害となる量に達しない量を用いることで有益な刺激がもたらされることであり、その要因は物理的、化学的、生物学的なもののいずれかである。例えば紫外線は浴び過ぎれば皮膚がんの原因となり、また殺菌灯は紫外線の殺傷力によっているが、少量の紫外線は活性ビタミンDを体内で作るために必要であり、この活性ビタミンDは血清中のカルシウム濃度を調整するものであって、もし不足すればクル病の原因となる。

4. 放射線防護のパラダイムシフト

現行の放射線防護基準は、ICRP（国際放射線防護委員会）2007年勧告を我が国の法体系に取り入れたものである。放射線被ばくを伴う業務に職業として従事する「放射線従事者」の防護基準は、実効線量の値として、1年に最大50mSv、また5年間

の合計で 100mSv を限度値としている。また、妊娠可能な女子については 3 か月で 5mSv、年間 20mSv、また一般公衆は 1 年間に 1mSv としている。この中で、一般公衆とは、放射線従事者以外の、男女の区別なく、放射線感受性の高い 0 歳の乳幼児から大人までのすべての年齢層を含んでいる。このように、これまでの放射線防護に対する考え方が、被ばく者全員に対する一律な規定であったが、今日まで広島・長崎の被爆者のデータの評価⁹⁾により、年齢や性別による感受性の違いが浮き彫りになった。

また近年遺伝子レベルでの解明が進み、放射線被ばくに対する感受性の程度いわゆる「放射線耐性」に関する個人差⁷⁾が明らかになってきた。この結果、一律な防護基準を設定することが、特定の個人にとっては過剰な防護になる場合や、逆に防護不足になることが明らかになってきた。そこで遺伝子などの情報から放射線被ばくに対する「放射線耐性」を取り入れた防護基準を設定する「放射線防護基準のテーラーメイド化」¹⁵⁾ということが近年提唱されるようになった。このような「放射線防護基準のテーラーメイド化」によって、一人一人の「放射線耐性」に合わせた放射線防護を行うことが可能であると考えられる。しかし、「放射線防護基準のテーラーメイド化」については、医学生命倫理学上でもいくつかの問題点を抱えていると考えられ、それを踏まえて「放射線防護のパラダイムシフト」の方向性について考えてみたい。

広島・長崎の被爆者の固形癌の発生リスクについての性別および年齢の影響について、まず女性は男性より放射線被ばくにおける癌リスクが高いことが分かっている⁹⁾。また、前節の図 2 のグラフの中で、曲線 b をもたらす要因として、男女の性差や年齢、そして、遺伝子レベルの変異などの要因が判明している。広島・長崎の原爆被爆者の調査結果から、リスクは被ばく時の年齢が若いほど大きいことも分かっている。

小笹らの調査結果から、過剰相対リスク (ERR)^{注17)}は被ばく時の年齢が 10 歳若いと約 17% 増加し、10 歳加齢がすすむと ERR は約 30% 減少したと報告している。また、原爆被爆者の平均放射線量は 0.2Gy (200mGy) で、本稿で問題としている 100mGy 未満の低線量被ばくとは異なりやや高線量であるが、放射線生物学の観点から考えて妥当な結果であると考えられる。また、近年癌の発生を抑制する遺伝子である癌抑制遺伝子^{注18)}の同定により、癌抑制遺伝子の片方の対立遺伝子の機能が遺伝的に欠損していると、放射線被ばくによる癌発症リスクが高くなることも判明している。

このように遺伝子診断技術の進歩とそのコストの低下により、放射線被ばくの個人的リスクを簡易的に検査することが可能となった。その結果、低線量被ばくのリスクを、

性別、年齢別そして遺伝子別などに区別し、より個別化した放射線防護基準を設定する、いわゆる「テーラーメイド放射線防護基準」を設定することが実現できるようになってきた。しかし、この場合、個人の遺伝子情報の開示とその情報から防護基準を設定することを、どのようにして放射線防護のリスク管理の中に取り入れていくかが新たな課題となってくる。従来のように防護基準を画一的に設定して、個人によっては過剰防護と思われる基準が、過剰な介入でいわば「余計なおせっかい」にもなることから従来の防護基準は、放射線防護のパターナリズム^{注19)}であるとも考えることができる。また、防護基準の個別化を進める際に、個人としての遺伝子情報を開示したくないケースや、個別化の防護基準を求めないケースも想定されることから、それらに対する議論が今後要求されるようになってくると考えられる。

注 17) 過剰相対リスク (ERR)：一般的な疫学研究において 2 つ以上の集団でリスクを比べる時、非曝露群と比べて曝露群が「何倍」のリスクがあるのかをみるのが相対リスク (RR: relative risk) で、1 以上であれば曝露群のリスクが高く、1 以下であれば曝露群のリスクが低い。例えば、被ばく線量がゼロの集団における疾患 A の発生リスクが 10 万人あたり 2 人で、被ばく線量が 1 Sv の集団では 10 万人あたり 5 人だった場合、単純な RR は $5 / 2 = 2.5$ 倍となる。しかし、放射線被ばくのリスク評価では、放射線を浴びることによって単位線量当たりどのくらい過剰にリスクが上昇したのかをみることから、過剰相対リスク (ERR: Excess relative risk / 1Sv) という指標が用いられることが多い。この例では、単純な ERR は $(5 - 2) / 2 = 1.5$ となり、被ばく線量を 1 Sv 浴びると 1.5 倍過剰に発生リスクが上昇することを意味する。しかし、実際の被ばく者集団における解析では、被ばく線量、被ばく時年齢、被ばくからの経過時間、現在の年齢、性別などの、様々な因子を考慮して解析されている点に注意が必要である。

注 18) 癌抑制遺伝子：がんの発生を抑制する機能を持つタンパク質（がん抑制タンパク質）をコードする遺伝子である。特に有名ながん抑制遺伝子として、p53、Rb、BRCA1 などが挙げられる。2 倍体の細胞において 2 つのがん抑制遺伝子両方が損傷することなどにより、結果としてがん抑制タンパク質が作られなくなったり、損傷遺伝子からの異常ながん抑制タンパク質が正常がん抑制タンパク質の機能を阻害すると、組織特異的にがん化が起きると考えられている。

注 19) パターナリズム：強い立場にある者が、弱い立場にある者の利益のためだとして、本人の意志は問わずに介入・干渉・支援することをいう。親が子供のためによかれと思ってすることから来ている。日本語では家長主義、温情主義、父権主義と訳される。医療においては、患者の利益（生存、健康）を保護するためであるとして、情報の開示の制限をしたり、医師が患者に干渉し、その自由・権利に制限を加えることである。

5. まとめ

以上のように低線量被ばくの放射線防護について、医学生命倫理的観点から論述してきた。LNT 仮説は放射線防護の理論的根拠として ICRP（国際放射線防護委員会）

はじめ、様々な国際機関から支持されている。しかし、人類の放射線被ばくによる影響が遺伝子レベルで解明されその影響が明らかになって来たことから、その防護基準の適用についての検証が必要になってきた。そこで著者は、これまでと同様な視点から、LNT 仮説をそのまま「予防原理」を用いることへの問題点を本文中で指摘した。また、医療被ばくは低線量被ばくであるとはいえ、検査部位によっては 100mGy に近づく場合もあることから、特定の遺伝子を有する「高感受性」の個人への被ばく線量を制限することは極めて重要になってくると考えられる。反対に放射線の感受性が低い、つまり「放射線耐性」を有する個人の放射線防護基準を変更することを検討することも必要になってきたと考える。

謝辞

本研究を遂行するにあたり終始適切な助言をいただいた、医学生命倫理学教室
瀬戸山晃一教授に深く感謝いたします。

開示すべき潜在的利益相反はありません。

参考文献

- 1) 亀井修, 医療における放射線被ばくの医学生命倫理的考察, 『STUDIA HUMANA et NATURALIA』No.51 61-72 京都府立医科大学医学部医学科 (教養教育) (2018)
- 2) Edward J. Calabrese and Michael K. O'Connor : Estimating Risk of Low Radiation Doses – A Critical Review of the BEIR VII Report and its Use of the Linear No-Threshold (LNT) Hypothesis: Radiation Research, 182 (5) 463-474 (2014)
- 3) 「低線量被ばくのリスク管理に関するワーキンググループ報告書」(2011)
- 4) ビーチャム・チルドレス (Tom L. Beauchamp, James F. Childress) 『Principles of Biomedical Ethics: 生命医学倫理』(永安幸正 / 立木教夫 監訳) 142-159 (1998)
- 5) <https://www.env.go.jp/policy/report/h16-03/> 「環境政策における予防的方策・予防原則のあり方に関する研究会報告書」資料 15, ウィングスブレッド宣言 (1998)
- 6) 内閣府, 『放射線リスクに関する基礎的情報』(2016)

- 7) David J.Brenner et al, Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: Assessing what we really know. PNAS November 25, 100 (24) 13761-13766 (2003)
- 8) 放射線影響研究所の寿命調査 (LSS): https://www.rerf.or.jp/programs/research_activities/outline/proglss/
- 9) 小笹 晃太郎, 「広島・長崎における原爆被爆者の疫学調査」, 京府医大誌 120 (12).903-911 (2011)
- 10) 大塚直, 「リスク社会と環境法—環境法における予防原則について」 法哲学年報 / 日本法哲学会 編 54-71 (2009)
- 11) キャス・サンスティーン (Cass R Sunstein), 『恐怖の法則』, 22-44 (2015)
- 12) 一ノ瀬正樹, 『放射能問題に立ち向かう哲学』, 154-178 (2013)
- 13) 環境と開発に関する国際連合会議 (UNCED) リオ・デ・ジャネイロ宣言 (1992)
- 14) Nobuyuki Hamada, NCRP Commentary No. 27 「最近の疫学研究の直線しきい線量なしモデルと放射線防護への示唆」 (2018)
- 15) Ekaterina Royba et al, Evaluation of ATM heterozygous mutations underlying individual differences in radiosensitivity using genome editing in human cultured cells. *Scientific Reports* volume 7, Article number. 5996 (2017)